

Повышение эффективности процессов сепарирования зерновых смесей на рифленной поверхности

Васильев Александр Михайлович

*кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева
Адрес: 127550, город Москва, улица Тимирязевская, д.49
E-mail: fondprod@rambler.ru*

Мачихин Сергей Александрович

*доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: smachexpert@rambler.ru*

Стрелюхина Алла Николаевна

*доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: alstrel@rambler.ru*

Рындин Александр Алексеевич

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: aleksandr-ryndin@rambler.ru*

Среди зерноочистительных машин широкое распространение получили машины с колебательным движением ситовых рабочих органов. В этих машинах вибрационное воздействие на зерновые продукты обеспечивает их непрерывное транспортирование по ситам, самосортирование вследствие разрыхления и послойного движения и благоприятствует просеиванию мелких компонентов (примесей). Повысить эффективность зерноочистительных ситовых сепараторов можно путем интенсификации процесса самосортирования зерновой смеси при её движении по ситовой поверхности.

Предложена и обоснована новая опорная поверхность рабочих органов вибрационных сепарирующих машин, позволяющая повысить эффективность процесса самосортирования. Это достигается установкой на рабочую поверхность рифлей в виде прямоугольных пластин. Рифли установлены под углом к направлению колебаний рабочего органа. Рифли выполнены зигзагообразными в виде последовательно расположенных пластин под углом друг к другу и к направлению транспортирования (к направлению колебаний) основного зернового потока. Рифли образуют угол γ с направлением колебаний рабочей поверхности. Назначение рифлей – обеспечить торможение частиц нижнего слоя. Действие рифлей проявляется в уменьшении скорости частиц нижнего слоя относительно опорной поверхности, вследствие чего увеличивается степень различия скоростей верхнего и нижнего слоёв зернового потока. Высота рифлей выбирается из условия, что они должны обеспечить максимально возможное торможение частиц нижнего слоя при их транспортировании вдоль рабочей поверхности. В основе выбора лежит условие отсутствие движения зёрен, находящихся между смежными рифлями, в направлении колебаний опорной поверхности. Верхний слой зернового потока совершает движение в направлении колебаний рабочей поверхности, нижний – движение вдоль рифлей. Угол между направлениями скоростей верхнего и нижнего слоёв равен углу ориентации рифлей относительно направления колебаний рабочей поверхности. Сделан вывод: на рабочей поверхности с рифлями, образующими с направлением колебаний угол, равный $\gamma=90^\circ$, процесс самосортирования протекает с большей интенсивностью, чем на поверхности с расположением рифлей к направлению колебаний под углом $\gamma<90^\circ$.

Ключевые слова: сепарирующие машины, самосортирование, опорная поверхность, рифли, частота колебаний, амплитуды колебаний

Мука и крупа всегда занимали важное место в рационе питания человека. Современные технологии производства продуктов здорового питания из зернового сырья требуют увеличения производства муки высоких сортов для хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий, а также производства круп высшего сорта.

Одной из основных технологических операций, определяющих эффективность производства и качество муки и крупы, является сепарирование – разделение зернового материала на фракции, различающиеся свойствами частиц. На зерноперерабатывающих предприятиях сепарирование выполняют для очистки зерна от примесей, сортирования зерна на фракции, калибрования зерна, отбора и контроля готовой продукции (Самурганов, 2017). Как показывает практика сельскохозяйственного производства степень очистки основной культуры и точность классификации посевного материала во многом влияют на урожай, а также на стабильность качества зерна при хранении.

Среди зерноочистительных машин широкое распространение получили машины с колебательным движением ситовых (решетных) рабочих органов. В этих машинах вибрационное воздействие на зерновые продукты обеспечивает их непрерывное транспортирование по ситам, самосортирование вследствие разрыхления и послонного движения и благоприятствует просеиванию мелких компонентов (примесей) (Борщ, 2016; Котов, Деревенько, Степаненко, 2017).

Основным недостатком этих машин является невысокая технологическая эффективность. Наиболее распространенным приемом компенсации недостаточной эффективности зерноочистительных сепараторов является последовательный пропуск зерновой смеси через несколько машин одинакового принципа действия, чаще всего одной и той же модели (Гортинский, Демский, Борискин, 1980).

Повысить эффективность зерноочистительных ситовых сепараторов можно путем интенсификации процесса самосортирования зерновой смеси при её движении по ситовой поверхности. Объясним это утверждение (Васильев, Рындин, Стрелюхина, Мачихин, 2018).

В процессе ситового сепарирования в исходной смеси, поступающей на ситовую поверхность, в приёмной части рабочего канала частицы проходowego компонента распределены по всей

толщине образующегося слоя сыпучего тела. Эти частицы, участвуя вместе со всем сыпучим телом в относительном движении по ситам, должны в результате самосортирования опуститься на поверхность сита. Проходовые частицы, продолжая относительное движение в нижнем слое сыпучего тела, проходят над отверстиями сита и при наступлении благоприятных условий просеиваются.

Принято считать, что в том случае, если исходная зерновая смесь состоит в основном из проходowych частиц, то есть концентрация проходowego компонента в исходной зерносмеси велика, как, например, при очистке зерна от крупных примесей в сепараторах или при контроле муки в отсевах, то в процессе сепарирования решающее значение приобретает просеивание. В этом случае самосортирование не оказывает существенного влияния на результаты процесса в целом, однако, крупные частицы, находящиеся в нижнем слое, перебивают отверстия сита и ухудшают условия просеивания проходowych частиц, снижая эффективность процесса (Харченко, 2016; Васильев, Мачихин, Стрелюхина, Оспанов, 2017).

Если же проходowego компонента немного, а толщина слоя сыпучего материала во много раз больше размеров проходowych частиц, как, например, при очистке зерна от мелких примесей, в составе которых содержится достаточно большое количество семян сорных растений, то через сито просеиваются лишь частицы, находящиеся в нижнем слое, в который они попадают в результате самосортирования. В этом случае самосортирование приобретает решающее значение.

Материалы и методы

В мукомольно-крупяном производстве для разделения зерновых продуктов по признаку различия аэродинамических свойств разделяемых компонентов зерносмеси широкое применение нашли воздушные сепараторы. Например, на крупозаводах после каждой шелушильной системы и на контроле крупы и лузги продукт пневмосепарируют дважды, а иногда и трижды (Борщ, 2016), что связано с высокими требованиями к качеству готовой продукции. В подготовительном отделении мукомольных заводов воздушные сепараторы используют как в виде самостоятельных машин, так и в качестве пневмосепарирующего рабочего органа, входящего

в состав зерноочистительных ситовоздушных сепараторов.

Воздушные сепараторы отличаются большим разнообразием аэродинамических схем и конструктивных исполнений. Преимущественное распространение, благодаря конструктивной простоте и компактности устройства, получил способ сепарирования зерновых смесей в восходящем вертикальном воздушном потоке.

Однако, несмотря на различие аэродинамических свойств (скоростей витания) компонентов зерносмеси идеально разделить смесь невозможно. Обычно в производственных условиях при очистке зерна пшеницы средней засоренности эффективность процесса пневмосепарирования, составляющая 60–70% при нормативном содержании полноценного зерна в отходах, считается хорошим показателем.

К числу факторов, влияющих на эффективность процесса пневмосепарирования, относятся условия ввода исходной зерновой смеси в пневмоканал.

Результаты и их обсуждение

Установлено (Веденьев, 1992), что предварительное перед подачей в пневмоканал расслоение зерновой смеси, при котором компонент, имеющий меньшую скорость витания (легкая примесь) располагается в верхнем слое, способствует значительному повышению эффективности пневмосепарирования. Это объясняется уменьшением вероятности столкновения и сцепления частиц разделяемых компонентов при движении их в противоположные стороны в рабочем пневмоканале. Известно также (Гортинский, Демский, Борискин, 1980), что оптимальным является горизонтальное направление ввода исходной зерносмеси в пневмоканал. Выполнить указанные выше условия можно, применив в пневмосепарирующей машине в качестве питающего устройства вибрлоток, обеспечивающий эффективное расслоение (самосортирование) зерновой смеси.

Известно (Гортинский, Демский, Борискин, 1980), что эффективность самосортирования, проявляющегося во всплывании легких частиц в верхние слои и погружении мелких частиц в нижние слои зернового потока, зависит от интенсивности послойного движения сыпучего тела, то есть от различия скоростей верхнего и

нижнего слоёв зернового потока относительно опорной поверхности рабочего органа, а, следовательно, и относительно друг друга.

В работах (Васильев, Мачихин, Козлов, 2005; Киракосян, 2014) была предложена и обоснована новая опорная поверхность рабочих органов вибрационных сепарирующих машин. По сравнению с традиционно используемыми в машинах опорными поверхностями: ситовой или гладкой (опорная поверхность питающих вибрлотков), новая поверхность позволяет повысить эффективность процесса самосортирования. Это достигается установкой на рабочую поверхность рифлей в виде прямоугольных пластин. Рифли установлены под углом к направлению колебаний рабочего органа. На Рисунке 1 показана новая опорная поверхность рабочих органов сепарирующих машин (на рисунке правая боковая стенка рабочего органа не показана). Рифли установлены на сплошной поверхности (рифли могут быть установлены и на ситовой поверхности) и выполнены зигзагообразными, то есть в виде последовательно расположенных одна за другой пластин под углом друг к другу и к направлению транспортирования (к направлению колебаний) основного зернового потока по опорной поверхности рабочего органа. Рифли образуют угол с направлением колебаний рабочей поверхности. Назначение рифлей – обеспечить торможение частиц нижнего слоя. Действие рифлей проявляется в уменьшении скорости частиц нижнего слоя относительно опорной поверхности, вследствие чего увеличивается степень различия скоростей верхнего, не подверженного воздействию рифлей, и нижнего слоёв зернового потока. Можно выделить два установочных параметра, которые влияют на степень тормозящего воздействия рифлей – высота рифлей и угол их установки относительно направления колебаний рабочего органа.

Высота рифлей выбирается, исходя из того, что рифли должны обеспечить максимально возможное торможение частиц нижнего слоя при их транспортировании вдоль рабочей поверхности. Поэтому в основу выбора высоты рифлей положены следующие условия: отсутствие движения зёрен, находящихся между смежными рифлями, в направлении колебаний опорной поверхности в случае любой ориентации, с возможностью их движения только вдоль рифлей; возможность всплывания крупных и легких частиц, оказавшихся между рифлями, в верхние слои зернового потока. Из этих условий следует, что высота рифлей должна быть не менее половины максимального

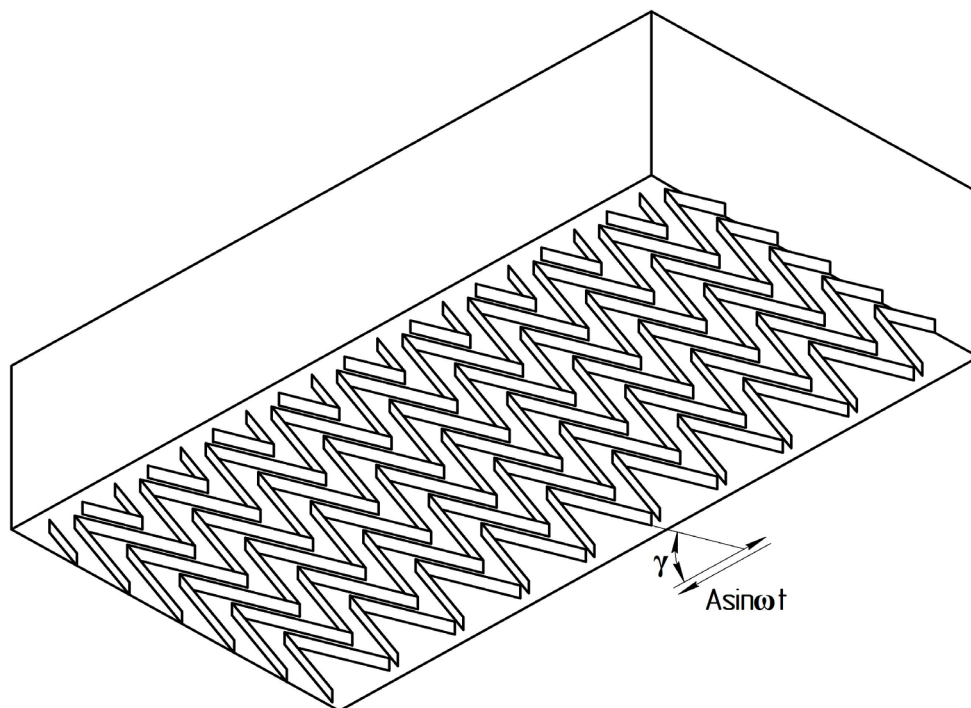


Рисунок 1. Новая опорная поверхность рабочих органов вибрационных сепарирующих машин.

размера (длины) зерновки сепарируемой зерновой культуры.

При вибрациях опорная поверхность передаёт частицам сыпучего тела силовые импульсы от частиц нижнего слоя внутрь сыпучего тела, постепенно уменьшаясь вследствие рассеяния энергии. Максимальные силовые импульсы передаются частицам нижнего слоя, минимальные – верхнего. Усилие, которое можно передать частицам сыпучего тела от опорной поверхности или от смежных частиц, определяется условиями связи и зависит от направления передачи этого усилия. Если условия связи не позволяют передать частицам усилие, необходимое для сообщения им ускорения, равного ускорению опорной поверхности, то происходит относительное движение этих частиц. Для частиц, расположенных в разных точках сыпучего тела или имеющих различные физико-механические свойства, условия связи различны, поэтому различны и ускорения, при которых начинается и происходит их относительное движение. Вследствие движения частиц относительно друг друга сыпучая смесь разрыхляется и увеличивается её объём в направлении свободной поверхности. Так возникают условия для самосортирования, которое проявляется в направленном в среднем перемещении частиц в различные участки объёма сыпучего тела.

Как отмечено выше, максимальное усилие опорная поверхность передаёт частицам нижнего слоя, заполняющим пространство между рифлями. Меньшее усилие передаётся частицам слоя, расположенного непосредственно над рифлями. Усилие, передаваемое вышележащим слоям зерносмеси, постепенно уменьшается по мере удаления от опорной поверхности. Таким образом, наибольшее различие в скоростях имеют частицы нижнего слоя, заполняющие пространство между рифлями, и частицы слоя, расположенного непосредственно над рифлями. Следует заметить, что основным показателем интенсивности самосортирования является скорость вертикального движения (всплывания или погружения) в слое зернового потока частиц, отличающихся от окружающих плотностью и размерами. При этом скорость вертикального перемещения частиц пропорциональна интенсивности послойного движения в данной точке сыпучего тела. Следовательно, с наибольшей интенсивностью процесс самосортирования протекает в нижних слоях зернового потока.

В соответствии с вышеизложенным интенсивность самосортирования (скорость погружения или всплывания частиц зерносмеси) различна по высоте слоя зернового потока. Следовательно, время пребывания зерносмеси на рабочей поверхности в процессе сепарирования

используется недостаточно рационально.

Устранить указанный недостаток можно путём применения рифлей, обеспечивающих одинаково высокую интенсивность самосортирования в различных слоях зернового потока по длине рабочей поверхности. Это достигается применением рифлей, высота которых либо увеличивается, либо уменьшается в направлении движения зернового потока по рабочей поверхности. При этом высокая интенсивность самосортирования обеспечивается в каждом слое на соответствующем участке по длине рабочей поверхности. Таким образом, при движении зерносмеси вдоль рабочей поверхности слои зернового потока поочередно находятся в области интенсивного самосортирования. Например, рифли выполнены так, что их высота увеличивается в направлении движения зерновой смеси. В этом случае слои зернового потока находятся в области интенсивного самосортирования поочередно, начиная с нижних слоёв в приёмной части рабочей поверхности и заканчивая верхними слоями в сходовой части поверхности. Рифли могут быть выполнены и так, что их высота уменьшается в направлении движения зерносмеси. В этом случае область интенсивного самосортирования в зерновом потоке по его длине постепенно переходит из верхних слоёв в нижние, охватывая, как и в предыдущем случае выполнения рифлей, все слои зернового потока. Следует заметить, что в процессе сепарирования, в обоих вариантах исполнения рифлей, область интенсивного самосортирования распространена по всему объёму зернового потока. Это свидетельствует о более рациональном использовании времени пребывания сепарируемой зерносмеси на рабочей поверхности, то есть о повышении эффективности технологического процесса.

Последовательность чередования в зерновом потоке слоёв с высокой интенсивностью самосортирования зависит от осуществляемого процесса сепарирования.

Например, процесс очистки от мелких примесей. В исходной зерносмеси, поступающей в приёмную часть рабочей поверхности, мелкие примеси равномерно распределены по всей толщине зернового потока. Следовательно, для достижения высокой эффективности процесса сепарирования необходимо создать такие условия самосортирования зерновой смеси при её движении по рабочей поверхности, чтобы мелкие примеси, находящиеся в верхнем слое потока, успели погрузиться в нижний, достичь

ситовой поверхности и просеяться через неё. В этом случае высота рифлей должна уменьшаться в направлении транспортирования зерновой смеси по рабочей поверхности, то есть высота рифлей в приёмной части рабочей поверхности больше, чем в сходовой части поверхности. При таком исполнении рифлей происходит интенсивное погружение мелких примесей из верхнего в нижележащий слой зернового потока на участке приёмной части рабочей поверхности, то есть на начальной стадии процесса сепарирования. На следующем участке рабочей поверхности область интенсивного самосортирования в зерновом потоке переходит из верхнего слоя в нижележащий, то есть в тот слой, в который погрузились мелкие примеси на участке приёмной части поверхности. На этом участке рабочей поверхности также обеспечивается интенсивное погружение мелких примесей в последующий нижележащий слой зернового потока. На каждом последующем участке рабочей поверхности в области интенсивного самосортирования оказывается слой зернового потока, в который погрузились мелкие примеси из вышележащего слоя, находившегося в области интенсивного самосортирования на предыдущем участке рабочей поверхности. Таким образом, обеспечивается высокая интенсивность погружения мелких примесей на всём пути их следования вдоль рабочей поверхности.

Заключение

Как отмечено выше, интенсивность самосортирования находится в прямой зависимости от интенсивности послойного движения зерновой смеси. Степень различия скоростей слоёв определяется не только различием величин скоростей, но также различием направлений скоростей верхнего и нижнего слоёв потока. Верхний слой зернового потока, расположенный над рифлями, совершает движение в направлении колебаний рабочей поверхности. Нижний слой, который составляют частицы, заполняющие пространство между рифлями, совершает движение вдоль рифлей. Следовательно, в рассматриваемом случае угол между направлениями скоростей верхнего и нижнего слоёв равен углу ориентации рифлей относительно направления колебаний рабочей поверхности. В соответствии с вышеизложенным можно сделать вывод: на рабочей поверхности с рифлями, образующими с направлением колебаний угол, равный $\gamma=90^\circ$, процесс самосортирования протекает с большей интенсивностью, чем

на поверхности с расположением рифлей к направлению колебаний под углом $\gamma < 90^\circ$.

Для подтверждения полученных выводов целесообразно провести экспериментальные исследования по оценке влияния геометрии рифлей и варианта их установки по отношению к направлению колебаний рабочей поверхности.

Литература

- [1] Самурганов Е. Е. Параметры и режимы работы калибровщика семенного материала кукурузы: дисс. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2017. 181 с.
- [2] Борщ Ю. П. Экспериментальное определение параметров псевдодвижения зерновых смесей // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2016. Vol. 18. No. 7. P. 61-64.
- [3] Котов Б. И., Деревенько И. А., Степаненко С. П. Исследование эффективности сепарации зерновых материалов на ступенчато-коническом решетке виброцентробежных машин // Вібрації в техніці та технологіях. 2017. № 2(85). С. 99-102.
- [4] Гортинский В. В., Демский А. Б., Борискин М. А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 1980. 304 с.
- [5] Васильев А. М., Рындин А. А., Стрелюхина А. Н., Мачихин С. А. Эффект самосортирования в переработке сыпучих пищевых продуктов при вибрационном воздействии // 29 Симпозиум по реологии. Тверь, 2018. С. 63-64.
- [6] Харченко С. А. Методика определения энергозатрат процессов вибрационного просеивания зерновых смесей // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». 2016. Випуск 10/2 (30). С. 137-141.
- [7] Васильев А. М., Мачихин С. А., Стрелюхина А. Н., Оспанов А. Б. Вибрационное перемещение при негармоническом законе колебаний рабочей поверхности // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 7. С. 50-55.
- [8] Веденьев В. Ф. Научные основы совершенствования процесса пневмосепарирования зернопродуктов и разработки высокоэффективных воздушных сепараторов: дис. ...докт. техн. наук. М., 1992. 449 с.
- [9] Васильев А. М., Мачихин С. А., Козлов И. А. Совершенствование рабочих органов сепарирующих машин // Хлебопродукты. 2005. № 9. С. 36-37.
- [10] Киракосян Д. В. Очистка зерна пшеницы от примесей на рифленых поверхностях: дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 213 с.

Improvement of Grain Mixture Separation on Corrugated Surface

Aleksandr M. Vasiliev

*Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy
49, Timiryazevskaya, Moscow, 127550, Russian Federation
E-mail: fondprod@rambler.ru*

Sergey A. Machikhin

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: smachexpert@rambler.ru*

Alla N. Strelyukhina

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: alstrel@rambler.ru*

Aleksandr A. Ryndin

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: aleksandr-ryndin@rambler.ru*

Machines with vibrating sieves are wide spread amongst grain-cleaning machines. In these machines, the vibrational impact on cereal products provides their continuous conveying over sieves, auto-separation due to loosening and motion of layers, and promotes the screening of fine components (contaminants). Efficiency of grain-cleaning sieve separators may be improved through intensification of grain mixture auto-separation as it is moving over the surface of a sieve.

A new supporting surface is proposed and substantiated for working elements of vibration separators, which allows improving the efficiency of auto-separation. This is achieved through installation of riffles shaped as rectangular plates. Riffles are inclined in relation to vibration direction of working element. The riffles are zigzag-shaped and installed as successive plates inclined to each other and to conveying direction (vibration direction) of main grain flow. Riffles are installed at an angle of γ relative to vibration direction of the working surface. The riffles are designed to provide deceleration of lower layer particles. The riffles cause deceleration of lower layer particles relative to the base surface, hence the velocities of upper and lower grain flow layers differ to a greater degree. Riffle height is selected based on the condition that the riffles shall provide maximum possible deceleration of lower layer particles as they are conveyed along the working surface. The selection is based on the condition that the grains located between adjacent riffles do not move in the same direction with base surface vibrations. Upper grain flow layer moves in the same direction with working surface vibration, lower grain flow layer moves along the riffles. The angle between velocity directions of upper and lower layers is equal to riffle orientation angle relative to vibration direction of working surface. Conclusion: if the riffles are installed on the working surface at angle of $\gamma=90^\circ$ relative to vibration direction, auto-separation intensity is higher than the intensity at the surface where riffles are installed at angle of $\gamma<90^\circ$ relative to vibration direction.

Keywords: separators, auto-separation, base surface, riffles, vibration frequency, vibration amplitude

References

- [1] Samurganov E. E. Parametry i rezhimy raboty kalibrovshchika semennogo materiala kukuruzy [The parameters and modes of operation of the calibrator of seed corn]: Candidate of technical sciences thesis. Krasnodar, 2017. 181 p.
- [2] Borshch Yu. P. Eksperimentalnoe opredelenie parametrov psevdodvizheniya zernovyh smesey [Experimental determination of parameters of grain mixtures pseudo-movement]. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, 2016, vol. 18, no. 7, 61-64.
- [3] Kotov B. I., Derevenko I. A., Stepanenko S. P. Issledovanie ehffektivnosti separacii zernovyh materialov na stupenchato-konicheskom reshete vibrocentrovezhnyh mashin [Research of efficiency of separation of grain materials on step-conical sieve of vibro-centrifugal machines]. Vibracii v tekhnici ta tekhnologiyah, 2017, no. 2(85), 99-102.
- [4] Gortinskij V. V., Demskij A. B., Boriskin M. A. Processy separirovaniya na zernopererabatyvajushhih predpriyatijah [Processes of separation on the grain processing enterprises]. Moscow: Kolos, 1980.
- [5] Vasilyev A. M., Ryndin A. N., Machikhin S. A. Effekt samosortirovaniya v pererabotke sypuchikh pishchevykh produktov pri vibratsionnom vozdeystvii [The effect of self-sorting in the processing of bulk food products under the vibration effect]. 29 Symposium on rheology. Tver, 2018, 63-64.
- [6] Kharchenko S. A. Metodika opredeleniya ehnergozatrata processov vibracionnogo proseivaniya zernovyh smesey [Method for determining the energy consumption of the processes of vibratory sifting of grain mixtures]. Visnik Sumskogo nacionalnogo agrarnogo universitetu. Seriya «Mekhanizaciya ta avtomatizaciya virobnychih procesiv», 2016, no. 10/2 (30), 137-141.
- [7] Vasiliev A. M., Machihin S. A., Strelyuhina A. N., Ospanov A. B. Vibracionnoe peremeshchenie pri negarmonicheskom zakone kolebanij rabochej poverhnosti [Vibration displacement under non-harmonic law of vibrations of the working surface]. Hranenie i pererabotka selhozsyrja, 2017, no. 7, 50-55.
- [8] Vedenyev V. F. Nauchnye osnovy sovershenstvovaniya processa pnevmoseparirovaniya zernoproduktov i razrabotki vysokoeffektivnyh vozduzhnyh separatorov [Scientific basis for improving the process of pneumoseparating grain products and developing high-performance air separators]: Dis. ...dokt. tehn. nauk. Moscow, 1992. 449 p.
- [9] Vasiliev A. M., Machihin S. A., Kozlov I. A. Sovershenstvovanie rabochih organov separirujushhih mashin [Perfection of the working bodies of separating machines]. Hleboprodukty, 2005, no. 9, 36-37.
- [10] Kirakosyan D. V. Ochistka zerna pshenicy ot primesej na riflenyh poverhnostjakh [Cleaning of wheat grain from impurities on corrugated surfaces]: Dis. ... kand. tehn. nauk. Moscow, 2014. 213 p.